

**“REFUERZO NO METÁLICO COMO MÉTODO DE REPARACIÓN EN  
DUCTOS DE TRANSPORTE DE GAS AFECTADOS POR CORROSIÓN Y  
DAÑOS MECÁNICOS”**

**MONOGRAFÍA PARA OBTENER EL TÍTULO DE ESPECIALISTA EN  
GESTIÓN DE LA INTEGRIDAD Y CORROSIÓN**

**PRESENTA:  
ING. ANGELA PATRICIA ESCAMILLA MORALES**

---

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA  
BOGOTÁ  
2020**

**“REFUERZO NO METÁLICO COMO MÉTODO DE REPARACIÓN EN  
DUCTOS DE TRANSPORTE DE GAS AFECTADOS POR CORROSIÓN Y  
DAÑOS MECÁNICOS”**

**ING. ANGELA PATRICIA ESCAMILLA MORALES**

**MONOGRAFÍA**

**DIRECTOR: ING. PhD JOSÉ ANÍBAL SERNA GIL**

---

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA  
BOGOTÁ  
2020**

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

Bogotá, diciembre 11 del 2020

La autoridad científica de la Facultad de Ingeniería, reside en ella misma, por lo tanto, no responde por las opiniones expresadas en este trabajo de grado

## **DEDICATORIA**

A mis padres por ser mi motivación y mi apoyo constante.

## TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO .....	6
1. OBJETIVOS .....	10
1.1. OBJETIVO GENERAL .....	10
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	10
2. MARCO REFERENCIAL .....	11
2.1. CORTE Y EMPALME .....	11
2.2. CAMISAS METÁLICAS .....	11
2.3. REFUERZOS NO METÁLICOS .....	14
3. REFUERZO NO METÁLICO COMO MÉTODO DE REPARACIÓN EN DUCTOS DE TRANSPORTE DE GAS AFECTADOS POR CORROSIÓN Y DAÑOS MECÁNICOS .....	23
3.1. DESARROLLO HISTÓRICO .....	23
3.2. TIPOS DE REFUERZOS .....	24
3.3. CRITERIOS DE USO .....	25
3.4. CRITERIOS DE APLICACIÓN .....	25
3.5. CERTIFICACIONES DE CALIDAD .....	30
3.6. INSTALACIÓN .....	32
3.7. TEMPORALIDAD .....	35
4. CONCLUSIONES .....	40
BIBLIOGRAFÍA .....	41

## LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1. Comparación de propiedades de las fibras.....</i>	<i>17</i>
<i>Tabla 2. Propiedades de los polímeros .....</i>	<i>18</i>
<i>Tabla 3. Reparaciones aplicables según tipo de defecto .....</i>	<i>21</i>
<i>Tabla 4. Características por Tipo de Riesgo según ASME PPC-2-2018.....</i>	<i>26</i>
<i>Tabla 5. Factor de diseño tuberías de gas .....</i>	<i>28</i>
<i>Tabla 6. Pruebas de calidad en sistemas de reparación con materiales compuestos.....</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 7. Lista de chequeo Instalación refuerzo no metálico.....</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 8. Ciclos de presión típicos en tuberías de gas .....</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 9. Resultados de ciclos de falla y años de servicio.....</i>	<i>39</i>

## LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1. Reparación con camisa Tipo A .....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 2. Reparación con camisa Tipo B .....</i>	<i>13</i>
<i>Figura 3. Refuerzo no metálico tipo Clock Spring® .....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 4. Tipos de fibras y orientación .....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 5. Composición de fibras laminadas .....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 6. Características de la pérdida de metal por corrosión .....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 7. Características daño mecánico tipo abolladura .....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 8. Características del prototipo de estudio .....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 9. Localización de la banda extensiométrica .....</i>	<i>38</i>



## JUSTIFICACIÓN

En la presente monografía, se realiza un análisis a los refuerzos no metálicos usados como método de reparación en ductos de transporte de gas afectados por corrosión y daños mecánicos.

Las compañías de transporte de gas y en general todas las compañías de transporte de hidrocarburos buscan evitar cualquier modo de falla en sus ductos, dentro de la gestión de integridad, los planes y métodos de inspección permiten determinar claramente el defecto ayudando con esto a la adecuada selección técnica y económica del método de reparación y su aplicación.

Identificar los defectos que pueden ser reparados bajo refuerzos no metálicos es de gran relevancia para las compañías operadoras ya que pueden no solo mantener en condiciones óptimas de funcionamiento cada ducto a cargo, sino también ser eficientes en el transporte del gas minimizando costos al no sacar de operación las líneas de transporte para asegurar la reparación del ducto.

Conociendo las condiciones de operación del ducto, los diversos sistemas ofrecidos por los fabricantes de refuerzos no metálicos y a través del estudio de la normatividad asociada a caracterización de indicaciones de pérdida de metal, daños mecánicos y reparaciones en ductos de transporte de hidrocarburos, se podrán dar a conocer los criterios para uso y aceptación de los refuerzos no metálicos.

## **1. OBJETIVOS**

### **1.1. OBJETIVO GENERAL**

Dar a conocer criterios de uso, procedimiento de instalación y temporalidad de los refuerzos no metálicos como método de reparación en ductos de transporte de gas afectados por corrosión externa o daños mecánicos.

### **1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- 1.1.1. Identificar los tipos de refuerzos no metálicos usados en reparaciones de ductos de transporte de gas.
- 1.1.2. Establecer criterios de uso y aplicabilidad de los refuerzos no metálicos
- 1.1.3. Describir el procedimiento de instalación de los refuerzos no metálicos
- 1.1.4. Indicar la temporalidad de las reparaciones bajo refuerzo no metálico

## **2. MARCO REFERENCIAL**

Los ductos de transporte de gas a lo largo de sus años de servicio se ven afectados entre otros, por mecanismos de daño como: corrosión, (interna o externamente), agrietamiento por corrosión bajo tensión, pueden incluso sufrir daños mecánicos o abolladuras, causadas por fuentes externas; mitigar o llevar a cero estas afectaciones con el menor esfuerzo económico es el gran reto de las compañías operadoras, quienes apoyadas por códigos internacionales definen tipos y tiempos de atención según sea el caso.

### **2.1. CORTE Y EMPALME**

Dentro de los métodos de reparación, el más efectivo y proporcionalmente costoso es el reemplazo de la sección del ducto, utilizado cuando se presentan pérdidas de contención, y daños severos que restrinjan la presión máxima de operación (El porcentaje de restricción es definido por cada compañía según las características de su operación); para su ejecución se requiere sacar de línea el tramo a intervenir, ahí uno de los puntos importantes de su elevado costo.

### **2.2. CAMISAS METÁLICAS**

Otro de los métodos comúnmente utilizados en la industria para evitar que las afectaciones conlleven a la ruptura del ducto, corresponde al uso de camisas metálicas como refuerzo estructural.

ASME PPC-2-2018, en el Artículo 206 “*Mangas de refuerzo de acero de círculo completo para tuberías*” [1] presenta la descripción, limitaciones, consideraciones de fabricación, diseño y pruebas; dentro de las opciones de configuración descritas en este artículo son tipo A y tipo B de uso más frecuente.

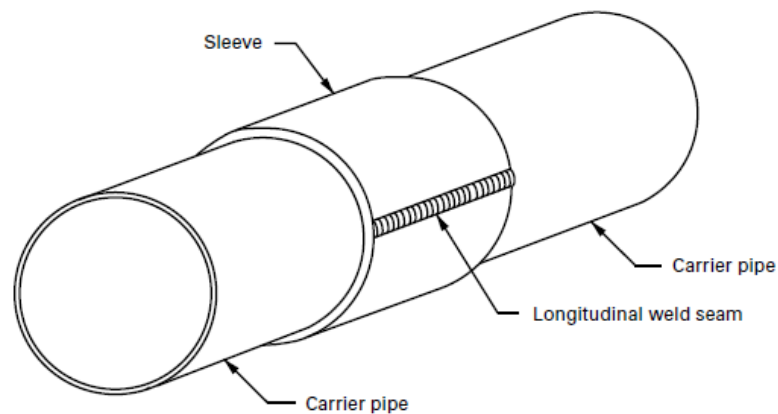
#### **2.2.1. Camisa Tipo A**

Su principal función es brindar refuerzo estructural sobre el área que presente la afectación, por tanto, se evita su uso cuando se presentan fugas o cuando se tiene conocimiento de que el defecto puede seguir creciendo.

La fabricación de las camisas tipo A se realiza con aceros que cumplan las especificaciones determinadas por el código de construcción, el espesor de la camisa debe ser igual o al menos 0.75 del espesor de la tubería donde se encuentre el defecto.

Su instalación se ejecuta limpiando el tubo hasta metal base y si se requiere aplicando material de relleno, solo se aplica soldadura en la sección longitudinal. tal como se muestra en la Figura 1. Reparación con camisa tipo A.

Figura 1. Reparación con camisa Tipo A



**Fuente** ASME PCC-2–2018, (Revision of ASME PCC-2–2015) Repair of Pressure Equipment and Piping.[1]

### 2.2.2. Camisa Tipo B

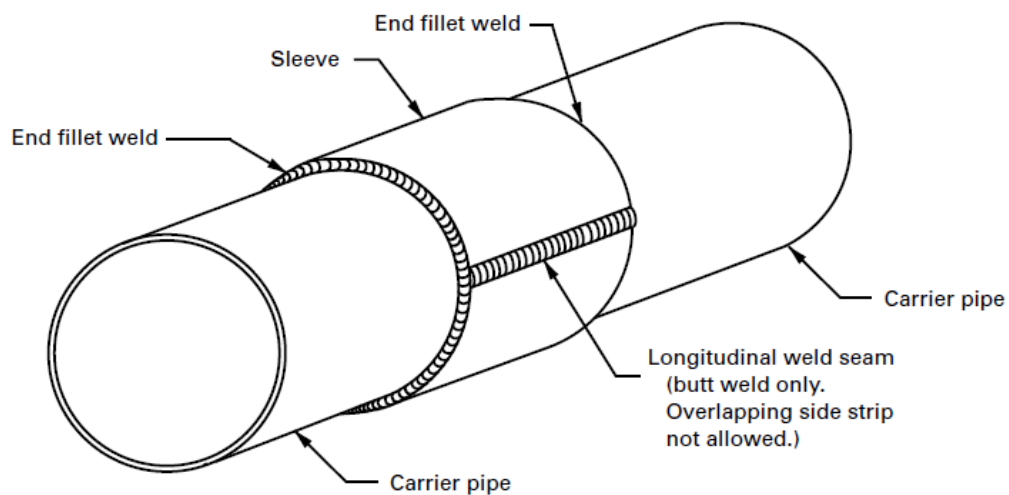
Brindan refuerzo axial y contención de presión interna, por tanto, este tipo de camisas si pueden ser usadas en defectos tipo fuga, o defectos en soldaduras circunferenciales.

Al igual que las camisas tipo A, su fabricación debe hacerse con aceros que cumplan las especificaciones del código de construcción, sin embargo, su espesor debe ser mayor o igual al requerido para soportar el mayor valor de presión de diseño.

Su instalación contempla la limpieza del área afectada hasta metal base, a diferencia de las camisas tipo A, se aplica soldadura en la sección longitudinal y circunferencial, durante el proceso debe asegurarse primero la soldadura longitudinal, posteriormente las soldaduras circunferenciales en los extremos de la camisa, como se muestra en la Figura 2. Reparación con camisa Tipo B.

Cualquiera de las opciones de camisa que se determine como método de reparación aplicable, debe ser asegurado en su proceso de soldadura, mediante inspección visual y ensayos no destructivos (partículas magnéticas, líquidos penetrantes o ultrasonido).

Figura 2. Reparación con camisa Tipo B



**Fuente** ASME PCC-2-2018, (Revision of ASME PCC-2-2015) Repair of Pressure Equipment and Piping.[1]

## 2.3. REFUERZOS NO METÁLICOS

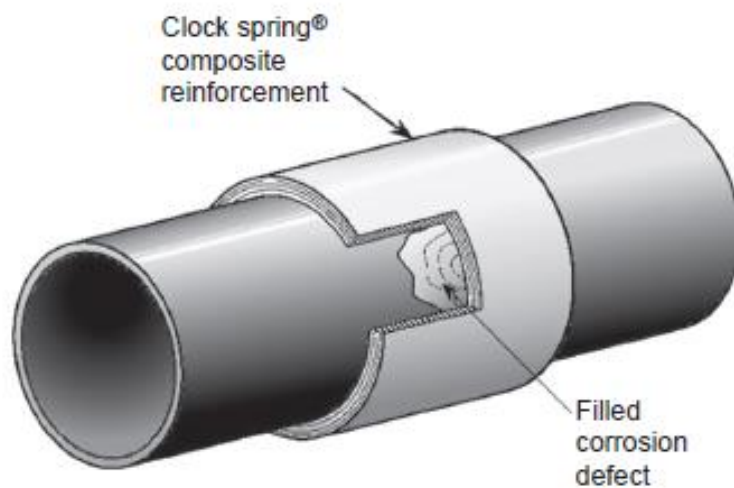
Otro de los métodos de reparación, que será tema de desarrollo de la presente monografía en los capítulos subsiguientes, es el uso de compuestos no metálicos, a diferencia de los métodos expuestos anteriormente y como su nombre lo indica no usa elementos de acero que requieran procesos de soldadura.

Dos de los refuerzos no metálicos más usados están constituidos por fibra de vidrio y de carbono.

### 2.3.1 En fibra de Vidrio

De forma general, este sistema incluye al menos 3 componentes, Figura 3. Refuerzo no metálico tipo Clock Spring<sup>®</sup>.

Figura 3. Refuerzo no metálico tipo Clock Spring<sup>®</sup>



**Fuente.** VISTAP M.KARBHARI (Editor) Rehabilitation of Pipelines Using Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Composites [7]

#### a) Filler o Relleno

Aplicado directamente sobre el área donde se presente el defecto, debe contar con alta resistencia a la compresión, será el material que permita la transferencia de carga.

Es considerado un material crítico, el más común consiste en un sistema epóxido de dos componentes altamente tixotrópico formulado para que pueda adaptarse a las diversas condiciones de temperatura e incluso para que pueda brindar protección contra la corrosión.

Es importante que este material cumpla en su mayoría con los requisitos relacionados a continuación: [5]

- Impermeabilidad del agua: esto evita que los poros al saturarse con la humedad del suelo, por ende, que no haya contacto entre el electrolito y el área del ducto protegida.
- Alta adherencia al metal: de tal forma que no se despegue el recubrimiento.
- Continuidad: minimiza la posibilidad de que la porosidad del recubrimiento pueda generar focos de corrosión.
- Estabilidad química: permite mayor durabilidad en entornos agresivos.
- Neutralidad electroquímica
- Resistencia mecánica
- Resistencia térmica: ayuda a soportar cambios de temperatura
- Propiedades dieléctricas: evitan la formación de focos de corrosión
- Protección contra corrosión e impactos químicos
- Bajo costo

#### b) Adhesivo

También conocido como capa de imprimación, su función es aumentar la adhesión del compuesto al tubo, al igual que en el filler (relleno) es preciso que en la selección del adhesivo se contemplen factores como [5]:

- Facilidad para mezclar y usar en condiciones de campo
- Utilizable al menos por 45 min según las condiciones de campo

- El tiempo de curado entre 2 y 4 horas (temp. entre 10 y 35 °C)
- Resistencia al corte (4.1 Mpa) en las uniones de materiales compuestos y de acero
- Compatible con los sistemas de protección catódica
- Alta resistencia a suelos húmedos
- Durabilidad de 20 años en condiciones extremas

Los materiales más usados para la fabricación de adhesivos son: acrilato, betún, polímeros clorados, resinas de epoxi-acrilato, epoxicas y fenólicas; la tendencia en compuestos es el caucho, que se utiliza con más frecuencia reconociendo la elasticidad y plasticidad.

En ocasiones se utiliza un agente de acoplamiento para aumentar la adhesión entre el sustrato y el caucho natural.

Las gomas de silicona, manifiestan buena resistencia a los rayos UV, a altas temperaturas, pueden ofrecer alta adhesión al sustrato si se le agrega un imprimante (resina de silicona, viniltrimetoxisilano entre otros).

El caucho de Nitrilo, buena resistencia a las grasas, los aceites, los disolventes orgánicos y a altas temperaturas.

#### c) Material de refuerzo

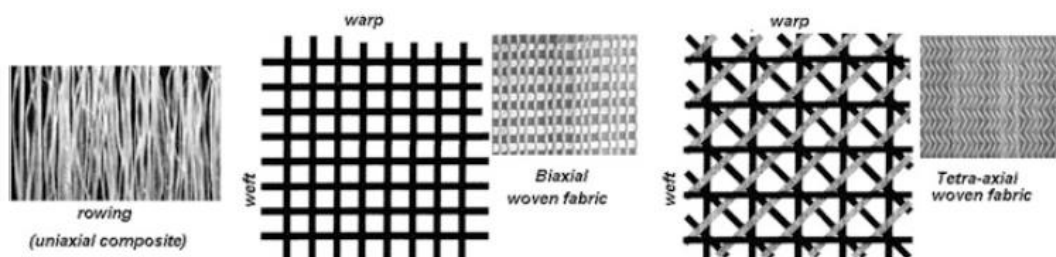
Consiste en un tejido con fibras en una matriz polimérica, las fibras permiten reducir la posibilidad de agrietamiento y se pueden subdividir en 4 sistemas: discreto, continuo, tejido plano (2D) y espacial (3D), los continuos son los que presentan mayor eficiencia, aunque pueden presentar baja resistencia de las capas intermedias, las láminas de tejido axiales o multiaxiales se pueden orientar de tal forma que brinden mayor fuerza o rigidez según se muestra en la Figura 4. Tipos de fibras y orientación.

La mayoría de los compuestos utiliza fibra de vidrio, la cual puede ser vidrio E (estable y muy utilizado) o vidrio S (Resistencia a la corrosión y mayor fuerza mecánica), la fibra de carbono y la fibra de aramida también son utilizadas, estas últimas con mayor rigidez y resistencia, sin embargo, más costosas; en la Tabla



1. Comparación de propiedades de las fibras, se relacionan las propiedades de estos 4 tipos de fibras.

Figura 4. Tipos de fibras y orientación



**Fuente.** EVGENY N. BARKANOV., ANDREI DUMITRESCU., IVAN A. PARINOV., (Editores) Non-destructive Testing and repair of pipelines, Review on Materials for Composite Repair Systems [5]

Tabla 1. Comparación de propiedades de las fibras

Tipo de fibra	Módulo de tracción (Gpa)	Esfuerzo último de tensión (Mpa)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Esfuerzo de ruptura (%)
Vidrio Tipo-E	27	770-1435	2600	2.5
Vidrio Tipo-S	33	1750	2600	2.8
Carbón	140	2350	1700	1.4– 1.8
Aramida (Kevlar)	45-48	2140-2250	1400	3.3– 3.7

**Fuente.** EVGENY N. BARKANOV., ANDREI DUMITRESCU., IVAN A. PARINOV., (Editores) Non-destructive Testing and repair of pipelines, Review on Materials for Composite Repair Systems. [5]

Por su parte la matriz polimérica puede ser de: Poliéster, epoxi, polímeros fenólicos y poliuretano; el epoxi, tiene características importantes como buena

adhesión y alta resistencia mecánica, sin embargo, el tiempo de curado es más lento; los fenólicos ostentan buena dureza, resistencia química y térmica; la matriz de poliuretano, se adapta fácilmente con las fibras de vidrio (buena relación costo beneficio) y de carbono, exhiben buena dureza intrínseca lo que permite que los refuerzos sean resistentes a la fatiga y al impacto, en la Tabla 2. Propiedades de los polímeros, se relacionan los polímeros más utilizados.

Tabla 2. Propiedades de los polímeros

Propiedades	Unidades	Epoxi	Poliéster	Fenólicos	Poliuretano
<b>Densidad</b>	Kg/m <sup>3</sup>	1150	1120	1.40 * 10 <sup>3</sup>	950-1100
<b>Módulo de elasticidad</b>	Gpa	2.5	3.4	8.3	2.8
<b>Resistencia a la tracción</b>	Mpa	60	60	50	80
<b>Elongación</b>	%	4	2	1	5-10
<b>Resistencia a la flexión</b>	Mpa	120	113	69	470
<b>Fuerza de compresión</b>	Mpa	140	N/A	N/A	N/A
<b>Expansión térmica (20°C)</b>	°C <sup>-1</sup>	50 * 10 <sup>-6</sup>	31 * 10 <sup>-6</sup>	40 * 10 <sup>-6</sup>	49 * 10 <sup>-6</sup>

N/A: No Aplica

**Fuente.** EVGENY N. BARKANOV., ANDREI DUMITRESCU., IVAN A. PARINOV., (Editores) Non-destructive Testing and repair of pipelines, Review on Materials for Composite Repair Systems [5]

### 2.3.2 En fibra de carbono

Comercialmente se proveen en rollos con longitudes de hasta de 90 metros fabricados de forma unidireccional en la cual la mayoría de las fibras están dispuestas en la dirección longitudinal, sin embargo, pueden contar con pequeñas fibras transversales que ayudan a mantener las longitudinales juntas o bidireccional con diferentes cantidades de fibras orientadas de forma transversal y longitudinal. [7]

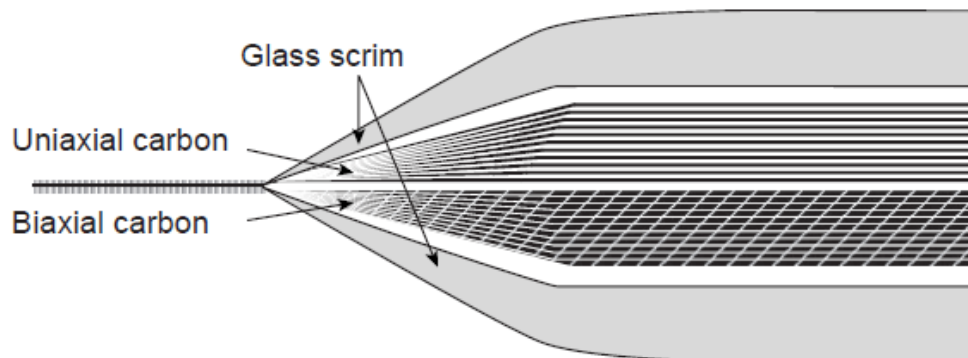
Estas fibras se instalan formando capas continuas mediante el enrollado de la tubería, tomando el 50% de la capa anterior (efecto taja) de tal forma que al final

de la primera tendida el ducto tendrá 2 capas que constituyen el sistema más común, en todo caso el número de capas dependerá del diseño definido para el defecto encontrado.

### 2.3.3 En Fibras Laminadas

Recientemente, se están utilizando refuerzos laminados que ofrecen ventajas adicionales para determinados sistemas, la Figura 5. Composición de fibras laminadas, muestra la estructura típica de estas nuevas aplicaciones construidas con equipos especialmente diseñados, en las cuales a las fibras de vidrio o carbono se les aplica suficiente resina para luego pasar por una prensa que aplica calor y presión uniforme para producir cada laminado.[7]

Figura 5. Composición de fibras laminadas



**Fuente.** VISTAP M.KARBHARI (Editor) Rehabilitation of Pipelines Using Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Composites [7]

Dentro de las ventajas, se les atribuye mayor resistencia en ambas direcciones, espesor más delgado que las fibras convencionales.

#### 2.3.4 En Fibras de Aramida

Uno de los nombres más conocidos comercialmente es Kevlar, estas fibras presentan filamentos altamente anisotrópico lo que permite tener propiedades mecánicas con mejor comportamiento en sentido longitudinal que radial, su comportamiento de tensión-deformación es lineal su fractura puede ir precedida por fragmentación longitudinal y astillamiento, al doblarse muestran gran rendimiento del lado donde se presenta la compresión, a diferencia de las fibras de vidrio y carbono cuyo modo de falla puede ser más catastrófico con menos tolerancia al impacto.

El mayor uso de este tipo de fibras se da en aplicaciones marinas o aeroespaciales debido a su alto costo no es tan común su uso en reparación de ductos de transporte de hidrocarburos.

Por su parte, el estándar ASME B31.8 [2], provee información en lo que concierne al uso de refuerzo no metálico, descrita en los siguientes artículos:

Artículo 401, "*Sistemas de reparación de compuestos no metálicos, en aplicaciones de alto riesgo*" en este artículo se describen entre otros: requerimientos de reparación, materiales y sistemas de reparación, limitaciones y calificación del sistema de reparación, Diseño, Fabricación, instalación, y pruebas de calidad, asociadas al sistema de reparación de alto riesgo.

Artículo 402, "*Sistemas de reparación de compuestos no metálicos, aplicaciones de bajo riesgo*" en este artículo se describen entre otros: requerimientos de reparación, materiales y sistemas de reparación, limitaciones y calificación del sistema de reparación, Diseño, Fabricación, instalación, y pruebas de calidad, asociadas al sistema de reparación de bajo riesgo.

Para éste estándar un sistema de reparación con refuerzos no metálicos se define como la combinación de los siguientes elementos

- Sustrato (superficie a reparar)
- Preparación de la superficie
- Material compuesto
- Material de transferencia de carga
- Adhesivo de capa de imprimación

- Método de aplicación
- Protocolo de curado
- Adhesivo interlaminar para sistemas de reparación en capas curvadas

Por su parte, el libro Oil&Gas Pipelines Integrity And Safety Handbook [6] presenta a manera de resumen, distribución sobre el tipo de reparación aplicable según el de defecto encontrado, incluye algunas consideraciones a tener en cuenta según se muestra en la Tabla 3. Reparaciones aplicables según tipo de defecto.

Una vez analizadas las características de los diferentes métodos de reparación podemos inferir que los refuerzos no metálicos presentan ventaja frente a las camisas tipo A y tipo B en lo que a procesos de soldadura refiere, y que indirectamente se puede traducir en menores tiempos de instalación, sin embargo, pueden presentar ciertas desventajas, relacionadas con la vida útil o de defectos a reparar, este y otros temas se profundizaran en el siguiente capítulo.

Tabla 3. Reparaciones aplicables según tipo de defecto

Tipo de defecto	Camisa Tip A	Compuestos	Camisa Tipo B
1. Fuga (cualquier causa) o defecto >0.8t	NO	NO	SI
2. Corrosión Externa			
2a. Picadura superficial a moderada <0.8t	SI	SI	SI
2b. Picadura profunda ≥ 0.8t	NO	NO	SI
2c. Ataque selectivo en costura	NO	NO	SI (a)
3. Corrosión Interna	SI (b)	SI (b)	SI
4. Pérdida de metal en cuerpo del ducto	SI (c)	SI (c)	SI (d)
5. Quemaduras, inclusiones o laminaciones	SI	SI (c)	SI
6. Puntos duros	SI	NO	SI
7. Abolladuras			
7a. Abolladura plana	SI (e)	SI (e)	SI
7b. Abolladura con concentrador de esfuerzos en soldadura de la costura o cuerpo del tubo	SI (c)(e)(f)	SI (c)(e)(f)	SI



Tipo de defecto	Camisa Tip A	Compuestos	Camisa Tipo B
<b>7c. Abolladura con concentrador de esfuerzos en soldadura circunferencial</b>	NO	NO	SI
<b>8. Grieta o agrietamiento</b>			
<b>8a. Grieta moderada <math>&lt; 0.4t</math></b>	SI (c)	SI (c)	SI (a)
<b>8b. Grieta profunda <math>&gt; 0.4t</math> y <math>&lt; 0.8t</math></b>	SI (c)	SI (c)	SI (a)
<b>9. Defecto de soldadura de la costura</b>			
<b>9a. Defectos volumétricos</b>	SI (c)	SI (c)	SI
<b>9b. Defectos Lineales</b>	SI (c)	SI (c)	SI (a)
<b>9c. Defecto en o cercano a costura ERW</b>	NO	NO	SI (a)
<b>10. Defecto en soldadura circunferencial</b>	NO	NO	SI
<b>11. Arrugas, doblamientos</b>	NO	NO	SI(g)
<b>12. Ampollamiento</b>	SI	NO	SI
(a) Asegurar que la longitud del defecto es subcrítica			
(b) Asegurar que el defecto interno o la corrosión no es susceptible de crecimiento fuera de los límites aceptables			
(c) Puede ser usada en defectos $< 0.8t$ de profundidad, siempre y cuando el defecto se haya removido e inspeccionado			
(d) Se recomienda que el defecto haya sido removido y verificado por inspección			
(e) Usar material de relleno, se recomienda análisis de ingeniería de fatiga			
(f) Validar los límites de tamaño permitidos por código y regulaciones			
(g) Camisa debe ser diseñada y fabricada con configuración especial tipo “calabaza”			

**Fuente:** IHSAN AL-TAI, J. MALCOLM GRAY, GERHARD KNAUF, MINXU LU, ALAN MURRAY, JOHN O'BRIEN, BILL SANTOS, JOE ZHOU, Oil and Gas Pipelines Integrity And Safety Handbook.[6]

### **3. REFUERZO NO METÁLICO COMO MÉTODO DE REPARACIÓN EN DUCTOS DE TRANSPORTE DE GAS AFECTADOS POR CORROSIÓN Y DAÑOS MECÁNICOS**

#### **3.1. DESARROLLO HISTÓRICO**

El uso de refuerzos no metálicos en la reparación de ductos de transporte precisa sus primeros desarrollos en Estados Unidos a finales de los años 80 y principios de los años 90.

Instalar en la zona afectada bandas de plástico de vidrio (unidireccional con módulo de elasticidad similar al del acero) enrolladas y ayudados de una bobina fue una de las primeras luces sobre la implementación de este tipo de reparaciones. [5]

Una de las empresas pioneras y que a la fecha presentan soluciones de este tipo es Clock Spring® (<https://www.cs-nri.com/brands/csnri/>) que desde su fundación en 1987 ha desarrollado una amplia gama de compuestos que pueden ser usados entre otros en ductos con pérdida de metal y daños mecánicos.

El primer sistema que se estableció comercialmente se denominó Clock Spring® (mangas compuestas) el cual consistía en un material compuesto a base de resina de vidrio y poliéster preformado en una bobina multicapa que se instalaba con un adhesivo. [7]

Más adelante, a mediados de los años 90 la industria comenzó a utilizar sistemas de tendido húmedo. El primer sistema en el mercado fue un producto conocido como StrongBack fabricado por Air Logistics Corporation (Azusa, California). StrongBack era un producto compuesto de refuerzo que se activaba con el agua, se impregnaba con resina y utilizaba materiales de fibra de vidrio. [8]

A principios del año 2000 el Departamento de Transporte de los Estados Unidos (DOT) a través de una nueva normatividad permitía la reparación de ductos utilizando materiales compuestos siempre que pudiesen ser reparados por un método en el que las pruebas y análisis de ingeniería fiables mostrasen que podían restaurar permanentemente la utilidad del ducto; antes de esta norma,

las empresas de transporte de hidrocarburos tenían que obtener una exención del Departamento de Transporte para utilizar Clock Spring® y no se permitía oficialmente ningún otro método de reparación con materiales compuestos. [8]

A partir de esta fecha muchas compañías generaron interés por el desarrollo de este tipo de sistemas de reparación.

En el año 2000 WrapMaster, Inc. inició un programa de pruebas para evaluar las capacidades del PermaWrap™, que es un sistema similar al Clock Spring® en el que emplea una cubierta dura con un adhesivo instalado entre las capas. [8]

Citadel Technologies desarrolló el Black-Diamond™ Composite Wrap. Aunque es similar a Armor Plate® Pipe Wrap en su uso de productos epoxídicos, este sistema tiene la ventaja añadida de que utiliza fibras de carbono, que en promedio tienen un módulo elástico del orden del doble que el del vidrio E convencional. [8]

### **3.2. TIPOS DE REFUERZOS**

Los refuerzos no metálicos como se comentó en el capítulo anterior, son un tipo de reparación de ductos ampliamente usado especialmente en transporte de gas, su estructura está relacionada al uso de materiales compuestos (fibra de Aramida, fibra de vidrio, fibra de carbono entre otros, en matrices de polímeros termoestables), en la fabricación de sus envoltentes.

Con los diferentes desarrollos a la fecha, en la actualidad se pueden identificar 3 categorías en las que se encuentran agrupados los sistemas de reparación mediante el uso de refuerzos no metálicos:

#### **3.2.1. Sistema por capas:**

Compuesto por filler, adhesivo y la cinta de refuerzo, en el mercado se conocen como Clock Spring®, Perma Wrap o Fiba Roll.

#### **3.2.2. Sistema de revestimiento húmedo:**

En éste la envoltura se logra aplicando sobre el ducto capas sucesivas de dos componentes, el primero una resina polimérica y el segundo la fibra de refuerzo. se conocen como Armour Plate® Pipe Wrap, Black Diamond, Aquawrap®.



### 3.2.3. Sistemas híbridos de reparación:

Combina los sistemas de capas y capas húmedas, conocidas como Rhinowrap, Furma wrap, Power Sleeve, EARwrap, Viperskin, Ridge back.[5]

## 3.3. CRITERIOS DE USO

Para estos criterios de uso y aplicación pueden proporcionarse dos clasificaciones descritas a continuación:

### 3.1.1. Diseño de la tubería o ducto

Esta metodología de reparación es aplicable en tuberías y ductos de acero que hayan sido diseñados bajo estándares de construcción como ASME B31.1 ASME B31.3 ASME B31.4 ASME B31.8, ISO 13623, ISO 15649.

### 3.1.2. Geometría de la sección a intervenir

Es importante tener en cuenta que tipo de infraestructura se requiere intervenir, si se habla de una zona afectada donde no se presenten curvaturas el sistema por capas en una buena alternativa, de lo contrario, si lo que se requiere es reparar secciones curvas o elementos como codos válvulas, tes o accesorios, lo más conveniente es el sistema de revestimiento húmedo ya que permite adaptarse fácilmente a la geometría de la pieza.

## 3.4. CRITERIOS DE APLICACIÓN

En sentido estricto, el estándar ASME-PPC-2-2018 [1] diferencia 2 tipos de aplicaciones según el tipo de riesgo esto es bajo o alto, su clasificación se dará al cumplir al menos con una de las premisas listadas para cada uno, según se muestra en la Tabla 4. Características por Tipo de riesgo según ASME PPC-2-2018.

En el caso del presente estudio, al considerarse el gas natural un fluido peligroso se tendrá en cuenta las consideraciones referidas a una clasificación tipo riesgo alto.

Tabla 4. Características por Tipo de Riesgo según ASME PPC-2-2018

Riesgo Alto	Riesgo Bajo
Líquidos peligrosos o IDLH	Líquidos no peligrosos o que no sean IDLH
Los sistemas que contienen tuberías, tanques o presión los buques que son críticos para la seguridad de los trabajadores (por ejemplo, sistemas de supresión de incendios)	Los sistemas que contienen tuberías, depósitos y presión buques que no son críticos para la seguridad de los trabajadores
Presiones superiores o iguales a 150 psig (MN/m <sup>2</sup> )	Menos de 150 psig (1 MN/m <sup>2</sup> )
Temperaturas superiores o iguales a 50°C (120°F)	Menos de 50°C (120°F)
Temperaturas inferiores o iguales a 0°F (-20°C)	Por encima de 0°F (-20°C)
el diámetro del defecto de la fuga, d, y la presión de diseño, P, satisface cualquiera de las siguientes relaciones: (1) $P d > 150 \text{ psig (in.)} 0,5$ (2) $P d > 0,16 \text{ MN/m}^2, 5$ (3) $d 0,25 \times D$	el tamaño del defecto de la fuga, d, y la presión de diseño, P, satisfacen las siguientes relaciones: (1) $P d < 150 \text{ psig (in.)} 0,5$ (2) $P d < 0,16 \text{ MN/m}^2, 5$ (3) el tamaño del defecto se limitará a $d \leq 0,25 \times D$

**Fuente:** ASME PCC-2–2018, (Revision of ASME PCC-2–2015) Repair of Pressure Equipment and Piping. [1], adaptación.

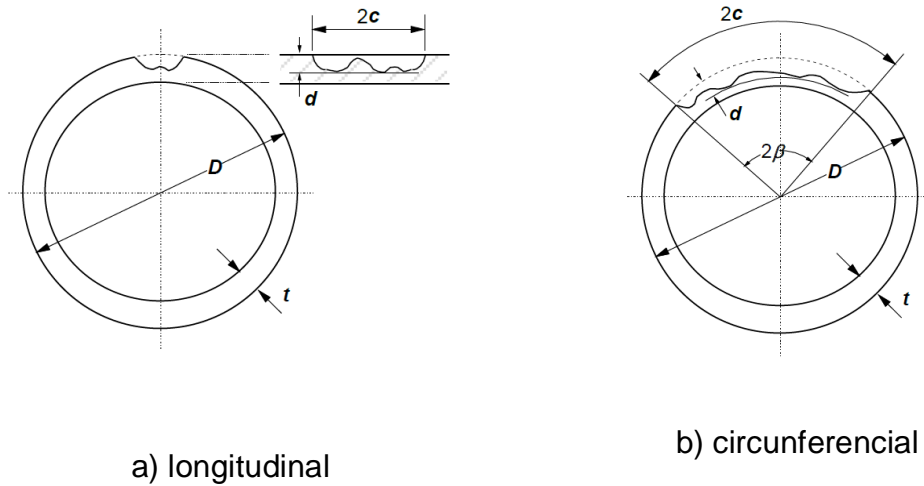
### 3.1.3. Defectos a reparar

Bajo la premisa establecida en el numeral anterior, a continuación, definiremos los defectos y sus características para los cuales podrían considerarse su reparación bajo la modalidad de refuerzos no metálicos.

- Corrosión interna o externa

El PDAM [4] define la corrosión como la pérdida de espesor de la pared, causada por acción electroquímica (corrosión generalizada, localizada y picaduras), acción microbiológica (superficies más ásperas y crestas orientadas axialmente), este defecto puede estar orientado longitudinal o circunferencialmente, según se muestra en la Figura 6. Características de la pérdida de metal por corrosión.

Figura 6. Características de la pérdida de metal por corrosión



Donde:

$2c$  = longitud o anchura de la parte de la pared del defecto de pérdida de metal (mm)

$d$  = profundidad medida del defecto de pérdida de metal de la pared parcial (mm)

$D$  = diámetro exterior del tubo (mm)

$t$  = espesor de la pared del tubo (mm)

$\beta$  = relación de la longitud circunferencial del defecto de la pérdida de metal de la pared parcial ( $w$ ) con el exterior

**Fuente:** PESPEN, The Pipeline defect Asestment Manual, PDAM Edition 2. [4]

Como método de inspección utilizado para evaluar este tipo de defectos se encuentra el estándar B31G-2012 [3] Modificado, el cual considera principalmente la longitud del defecto, y estima el cálculo de la presión segura utilizando la ecuación No 1, teniendo en cuenta que el fluido a transportar es gas el factor ( $f$ ) se extrae de la Tabla 5. Factor de diseño de tuberías de gas, referida por el estándar B31.8-2016. [2]

### Ecuación 1. Presión segura de operación

$$P_{sep} = f(\sigma_T + 68.95) \frac{2t}{D} \left[ \frac{1 - 0.85 \frac{d}{t}}{1 - 0.85 \frac{d}{t} \left( \frac{1}{M} \right)} \right]$$

**Fuente:** ASME B31.G-2012 (Revision of ASME B31G-2009) Manual for Determining the remaining strength of corroded Pipelines. [3]

Tabla 5. Factor de diseño tuberías de gas

Clase de ubicación	Factor de Diseño F
Ubicación Clase 1, División 1	0.8
Ubicación Clase 1, División 2	0.72
Ubicación clase 2	0.6
Ubicación clase 3	0.5
Ubicación clase 4	0.4

**Fuente:** ASME B31.8-2016 (Revisión de ASME B31.8-2014) Sistemas de tuberías de distribución y transporte de gas. [2]

La clase de ubicación a la que hace referencia en la Tabla 5. Factor de diseño de tuberías de gas, está definida por el estándar ASME B31.8-2016 como “Área geográfica a lo largo del gasoducto que se clasifica de acuerdo con la cantidad y proximidad de los edificios destinados a la ocupación por parte de seres humanos y otras características que se consideran cuando se prescriben los factores de diseño para la construcción, las presiones de funcionamiento y los métodos de prueba de los gasoductos y las líneas principales ubicadas en el área y cuando se aplican ciertos requerimientos de funcionamiento y mantenimiento”. [2]

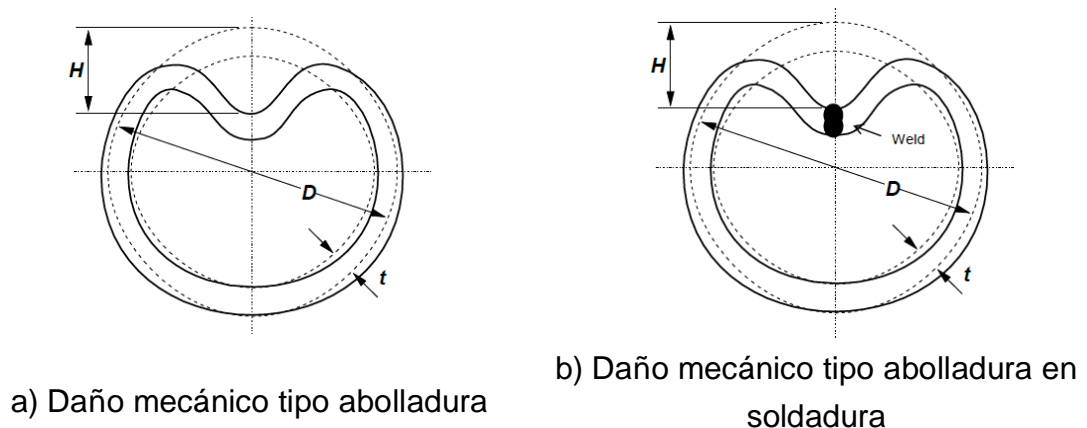
Finalmente, sí, la presión segura de operación calculada, es menor que la presión máxima de operación el defecto es rechazado y debe repararse.

- Daño mecánico

Se consideran daños mecánicos aquellos ocasionados por fuerzas externas que generan afectaciones en el recubrimiento, ranuras, rayaduras o abolladuras en la tubería, (ver Figura 7. Características daño mecánico tipo abolladura) para los cuales el estándar B31.8-2016 [2] establece la necesidad de reparación de estos defectos si se presentan los siguientes criterios de rechazo:

- Todo daño mecánico externo con o sin hendiduras visibles
- Abolladura simple que supere una profundidad del 6% del diámetro nominal de la tubería.
- Abolladura interactuando con corrosión que supere los criterios de aceptación para defectos de corrosión o cuya deformación sea superior al 6%.
- Abolladuras interactuando con fisuras.
- Abolladura en soldadura que supere una profundidad del 2% del diámetro nominal (excepto aquellos que sean aceptados por un análisis de ingeniería)

Figura 7. Características daño mecánico tipo abolladura



Donde:

H= profundidad de la abolladura

D= Diámetro externo del tubo

t = espesor de la pared del tubo

**Fuente:** PESPEN, The Pipeline defect Asestment Manual, PDAM Edition 2. [4]

### 3.5. CERTIFICACIONES DE CALIDAD

Todo proveedor de refuerzos no metálicos debe realizar pruebas de calidad a los materiales de construcción y al sistema de reparación como tal, así mismo debe aportar resultados de las mismas esto con el fin de cumplir con los requisitos del estándar ASME PPC-2-2018 [1], en la Tabla 6. Pruebas de calidad en sistemas de reparación materiales compuestos, se listan las pruebas obligatorias.

#### 3.5.1. Materiales de los refuerzos

Las pruebas a los materiales, se deben realizar por lotes registrando la frecuencia de muestreo, estas pruebas contendrán al menos las correspondientes a propiedades: físicas del tejido, tensión de las fibras, tensión del laminado, temperatura de transición vítrea del polímero, resistencia a la compresión (material del relleno).

#### 3.5.2. Sistema de reparación

En cuanto al sistema de reparación brindado por cada proveedor éste debe cumplir con las pruebas solicitadas por el estándar, las cuales se registran en la Tabla 6. Pruebas de calidad sistemas de reparación materiales compuestos.

#### 3.5.3. Almacenamiento de los refuerzos

El proveedor debe establecer en las hojas de datos de seguridad las condiciones óptimas de almacenamiento que garanticen la calidad de los elementos del sistema de reparación.

### 3.5.4. Salud y seguridad

Es importante que los materiales a utilizar cuenten con sus respectivas hojas de seguridad, en las cuales se registren los elementos de protección personal requeridos, y se listen los peligros asociados a su uso.

Tabla 6. Pruebas de calidad en sistemas de reparación con materiales compuestos

Propiedad	Tipo de prueba	Valores mínimos	Método de prueba
<b>Esfuerzo de tensión y módulo de Poisson</b>	Obligatoria	Esfuerzo de falla > 1%	ISO 527, ASTM D3039
<b>Módulo de corte plano</b>	Obligatoria sólo para ductos con fuga	Ninguno	ASTM D5379
<b>Dureza</b>	Obligatoria	Ninguno	BS EN 59, ISO 868, ASTM D2583, ASTM D 2240
<b>Coefficiente de expansión térmica</b>	Obligatoria	Ninguno	ISO 11359-2, ASTM E831
<b>Temperatura de transición vítrea [T<sub>g</sub>]</b>	Obligatoria	Ninguno, excepto si este puede determinar la máxima temperatura de operación del sistema compuesto.	ISO 11357-2 ASTM E381 ASTM E1640 – ASTM E6604
<b>Temperatura de distorsión de calor HDT [Nota 1]</b>	Obligatoria o usar [T <sub>g</sub> ]	Ninguno, excepto si este puede determinar la máxima temperatura de operación del sistema compuesto.	ISO 75, ASTM D648
<b>Fuerza de adhesión [Nota 2]</b>	Obligatoria	4 NM/m <sup>2</sup> (580 psi)	BS EN 1465, ASTM D3165, ASTM D5868

Propiedad	Tipo de prueba	Valores mínimos	Método de prueba
<b>Rendimiento al impacto</b>	Obligatoria sólo para ductos con fuga	Prueba de caída de resistencia por Apéndice 401-VI	ASTM PPC-2-2018 Apéndice 401-VI
<b>Tasa de liberación de energía</b>	Obligatoria sólo para ductos con fuga	Ninguno	ASTM PPC-2-2018 Apéndice 401-VI
<b>Prueba de resistencia de la bobina en el corto tiempo</b>	Obligatoria	No debe fallar	ASTM PPC-2-2018 Apéndice 401-III
<b>Desmantelamiento catódico</b>	Obligatoria para ductos con protección catódica	Ninguno	ASTM G8, ASTM G42, ASTM G95
<b>Modulo de compresión</b>	Obligatoria	Ninguno	ASTM D695, ASTM D6641, ISO 604, ISO 14126

(1) Para el polímero de la matriz (sin las fibras de refuerzo), utilice ASTM D648 o ISO 75-1 para medir el HDT bajo una carga de 1,82 MPa (264 psi). Como alternativa, cuando se mide el HDT para los polímeros reforzados (usando ISO 75-3), la carga mínima debe ser 0,1% del módulo.

(2) Cuando se utilice ASTM D3165, ASTM D5868, o BS EN 1465, servirá para proporcionar directrices generales para este ensayo. Una muestra del compuesto en lugar de sólo el adhesivo debe ser usado entre las placas.

**Fuente:** ASME PCC-2–2018, (Revision of ASME PCC-2–2015) Repair of Pressure Equipment and Piping [1]. Adaptación.

### 3.6. INSTALACIÓN

La instalación de los refuerzos no metálicos constituye uno de los puntos clave de este tipo de reparación, para que esta sea exitosa es preciso no solo contar con materiales debidamente certificados sino también con el personal debidamente entrenado y capacitado que cumpla con los parámetros de instalación establecidos por cada fabricante, en la Tabla 7. Lista de chequeo



instalación de refuerzos no metálicos, tomada estándar ASME-PPC-2-2018[1], se relacionan aspectos importantes a tener en cuenta durante el proceso de instalación.

Tabla 7. Lista de chequeo Instalación refuerzo no metálico

Punto de chequeo	Revisado por
Definición del método	Instalador
Preparación de materiales (refuerzo y polímero)	Instalador
Preparación de la superficie (inspección)	Instalador o supervisor
Perfil de relleno	Instalador
Chequeo de los refuerzos	Instalador
Prueba en el laminado de reparación (curado, espesor,	Instalador o supervisor
Prueba de presión	Autoridad de inspección

**Fuente:** ASME PCC-2–2018, (Revision of ASME PCC-2–2015) Repair of Pressure Equipment and Piping [1]

### 3.6.1. Entrenamiento

Estará a cargo del proveedor de refuerzos no metálicos, quien, apoyado en sus propios entrenadores, creará capacitaciones básicas teórico prácticas dirigidas a instaladores y supervisores.

Estas capacitaciones deberán contemplar temas como: sistemas y tipos de reparación, preparación de la superficie, preparación y aplicación de los materiales, control de calidad, salud, seguridad y medio ambiente, en el caso de instaladores y temas adicionales como: deberes, responsabilidades, métodos de evaluación utilizados en el diseño, control de instalación e inspección de reparaciones en el caso de supervisores.

Paso seguido, supervisores e instaladores mediante prueba escrita demostraran los conocimientos adquiridos, adicional a ello instaladores realizarán pruebas

prácticas Tipo A y Tipo B descritas en el apéndice obligatorio 401-IV del código ASME PPC-2-2018.[1]

Finalmente, supervisores e instaladores recibirán certificado, por su parte la empresa a cargo de la operación y/o reparación del ducto mantendrá registro de las respectivas actividades de entrenamiento y certificación.

La validez de la calificación como instalador será de 1 año, la renovación podrá realizarse como máximo 2 veces por el mismo periodo de tiempo siempre y cuando se garantice documentalmente que al menos ha realizado una instalación durante el periodo, de lo contrario tendrá que surtir el proceso descrito en los párrafos anteriores.

### 3.6.2. Instrucciones

Las instrucciones son proporcionadas en su totalidad por el proveedor del refuerzo no metálico, quien debe brindar información referente a: condiciones ambientales óptimas para el desarrollo de la instalación, proporción de materiales y tiempo para realizar la mezcla (adhesivo, relleno y activadores), forma de aplicación de los productos, ubicación del refuerzo sobre el defecto (garantizando al menos 2 pulgadas de área sana en los extremos del refuerzo), ajuste y remoción de material sobrante.

### 3.6.3. Preparación de la superficie

La preparación de la superficie debe realizarse según la técnica establecida por el proveedor, dado el caso que requiera cambiarse la nueva técnica deberá ser avalada por el proveedor, donde se asegurará al menos la longitud de la superficie donde se instalará el refuerzo.

El perfil de anclaje o rugosidad de la superficie preparada y limpia se evaluará a través de la SSPC SP1; el tiempo transcurrido entre la preparación de la superficie y el inicio de la instalación debe ser el mínimo posible para evitar el deterioro de la superficie lo cual puede ser causa de rechazo.

### 3.6.4. Curado

El curado depende del límite de temperatura establecida por el proveedor, dado el caso que se requiera exceder el límite, la temperatura tendrá que ser

monitoreada durante todo el tiempo que tome el proceso de curado, tiempo que también dependerá del tipo de polímero usado como refuerzo.

Dado el caso que la presión de operación se haya disminuido para realizar la reparación, ésta no podrá volver a su condición normal hasta tanto el proceso de curado se haya completado.

#### 3.6.5. Registros

Para cada reparación es preciso conservar un registro de las actividades realizadas, entre otros: procedimiento de preparación de superficie y de curado, tipo, cantidad, orientación y número de capas del refuerzo, referencia de la reparación, número de lote de los materiales utilizados e inspección visual, dimensiones de la reparación, medición de espesor y certificado de competencia del instalador.

#### 3.6.6. Uso de Materiales

Una vez finalizada la instalación es importante que se dispongan adecuadamente los materiales que no fueron utilizados o que corresponden a sobrantes.

### 3.7. TEMPORALIDAD

Tal vez uno de los primeros interrogantes que surge al pensar en el uso de refuerzos no metálicos como método de reparación es su vida útil, por cuanto tiempo la reparación puede ser efectiva.

Los refuerzos no metálicos debido a su composición pueden sufrir fallas por fractura en la fibra, falta de unión entre la fibra y la matriz o micro fisuración de la matriz, de igual forma la vida útil de estos materiales puede verse afectada no solo por los diversos mecanismos de daño presentes en el ambiente en que se encuentren instalados.

Es importante que desde el diseño se haga una selección adecuada de la resistencia y los espesores adecuados del refuerzo, teniendo en cuenta que, una

vez instalado el refuerzo sobre el ducto, se presenta presurización del ducto y carga sobre el compuesto.

Con el fin de explorar más a fondo este tema, en el año 2010 se desarrolló un programa bajo el patrocinio del Pipeline Research Council International, Inc. (<https://www.prci.org>) en conjunto con doce (12) empresas fabricantes de refuerzos no metálicos de todo el mundo según se relaciona en el artículo “Avances en la reparación de tuberías usando materiales compuestos” [8].

En el desarrollo de dicho programa de investigación, se tuvieron en cuenta un total de 180 muestras de tubería de acero de 12 pulgadas de diámetro nominal, 36 de las 180 muestras fueron falladas en el primer año con el fin de obtener datos de referencia, las 144 muestras restantes, se pospusieron para validación en 10 años.

Considerando que los sistemas de transporte de gas también están sometidos a ciclos de presión, claro está, en menor medida que los ductos de transporte de líquidos en la Tabla 8. Ciclos de presión típicos en tuberías de gas, se resumen los valores de presión encontrados por Kiefner J. F en su estudio “Estimación de la vida por fatiga en integridad de ductos” [9], para diferentes condiciones de severidad.

De otra parte, y dentro de la fase de preparación de las muestras en estudio, se simularon perdidas de espesor por corrosión hasta con el 75% instalando bandas extensiométricas biaxiales sobre cada una de ellas, a su vez se prepararon cinco (5) materiales compuestos diferentes, cuatro (4) en fibra de vidrio de diferente espesor y una (1) en fibra de carbono. las muestras fueron preparadas según se muestra en la Figura 8. Características de la muestra y Figura 9. Localización de la banda extensiométrica.

Tabla 8. Ciclos de presión típicos en tuberías de gas

% SMYS	Muy agresivo	Agresivo	Moderado	Ligero
72	20	4	1	0
65	40	8	2	0

% SMYS	Muy agresivo	Agresivo	Moderado	Ligero
55	100	25	10	0
45	500	125	50	25
35	1000	250	100	50
25	2000	500	200	100
<b>Total</b>	3660	912	363	175
<b>Número de ciclos por año</b>				
<b>72% SMYS</b>	276	67	25	10
<b>36% SMYS</b>	3683	889	337	128

**Fuente:** DR. CHRIS ALEXANDER, Advances in the repair of pipelines using composite materials.

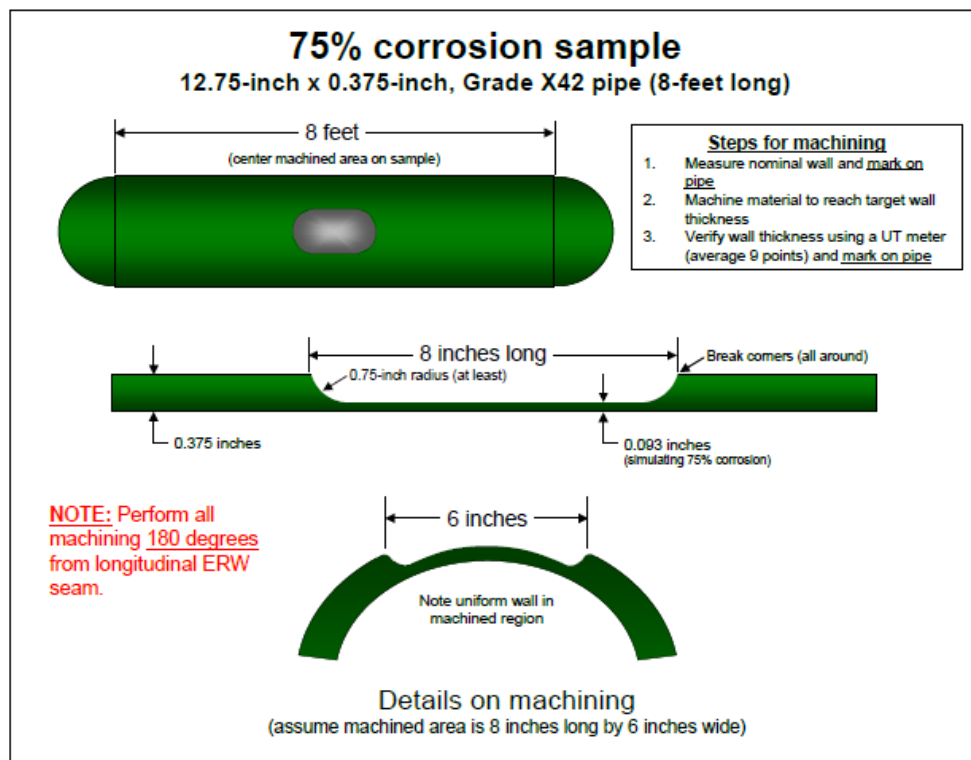
Los resultados de la evaluación muestran variación en la cantidad de ciclos registrada para cada material.

- Sistema #1 (vidrio E de 0,50 pulgadas de espesor): 43.090 ciclos
- Sistema #2 (vidrio E de 0.688 pulgadas de espesor): 72,920 ciclos
- Sistema #3 (vidrio E de 0,50 pulgadas de espesor): 140.160 ciclos
- Sistema #4 (vidrio E de 1.00 pulgadas de espesor): 165,120 ciclos
- Sistema #5 (Carbono de 0,660 pulgadas de espesor): 532.776 ciclos

Donde el número de ciclos de diseño para un rango de presión determinado se calcula dividiendo el número de ciclos hasta la falla en 20 (Método del código de caldera y recipientes a presión según ASME 2), este resultado y según la condición seleccionada de la Tabla 8. Ciclos de presión típicos de tuberías de gas, determinará los años de vida útil.

En la Tabla. 9 Resultados ciclos de falla y tiempo de servicio, se muestran los años de servicio para cada uno de los sistemas estudiados, asumiendo un rango de presión cíclica de 36% SMYS y un gasoducto bajo condición moderada de severidad.

Figura 8. Características del prototipo de estudio



**Fuente:** DR. CHRIS ALEXANDER, Advances in the repair of pipelines using composite materials.

Figura 9. Localización de la banda extensiométrica

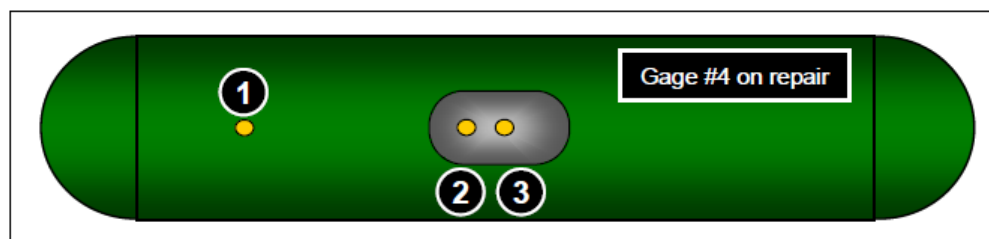


Figure 2: Diagram of Strain Gage Locations

**Fuente:** DR. CHRIS ALEXANDER, Advances in the repair of pipelines using composite materials.

Tabla 9. Resultados de ciclos de falla y años de servicio

Sistema	Ciclos hasta la falla	Ciclos de servicio	Rango de tensión % SMYS	Número de ciclos al 36%	Condición de severidad	Años de servicio
1	43090	2154	36%	337	Moderado	6
2	72920	3646	36%	337	Moderado	11
3	140160	7008	36%	337	Moderado	21
4	165120	8256	36%	337	Moderado	24
5	532776	26638	36%	337	Moderado	79

**Fuente:** DR. CHRIS ALEXANDER, Advances in the repair of pipelines using composite materials. adaptación

Es así, que cuando se habla de una reparación específica, conociendo el historial de presión, los ciclos experimentales del componente y las condiciones de severidad del sitio donde ha de instalarse el refuerzo puede determinarse el tiempo de vida útil.

Por su parte el fabricante del refuerzo avalado por las pruebas de calidad realizadas a sus productos en sus laboratorios establece que la temporalidad del refuerzo es proporcional al tiempo en servicio del ducto.

#### 4. CONCLUSIONES

- Gracias al interés durante las últimas tres décadas de grandes compañías por el desarrollo de nuevas tecnologías en el campo de los compuestos no metálicos, actualmente se encuentran en el mercado soluciones de tipo Clock spring® (fibra de vidrio), DiamondWrap® o AquaWrap® (fibra de carbono) Kevlar® (fibra de aramida) que ayudan a rehabilitación de ductos de transporte de gas.
- El uso de los refuerzos no metálicos está concentrado en la reparación de ductos afectados por daños asociados a: pérdidas de material por corrosión externa e interna menores al 80%, daños mecánicos tipo abolladuras planas o rayones, laminaciones y grietas; en cualquiera de los casos debe asegurarse mediante la inspección directa que los defectos no sean susceptibles de crecimiento, se eliminen los concentradores de esfuerzos y según se requiera se utilice material de relleno.
- La confiabilidad de las compañías operadoras en el uso de este tipo de reparaciones se ampara en el conjunto de acciones tomadas por cada fabricante de los sistemas de reparación, en cuanto a: pruebas de calidad de sus materiales previas a su salida al mercado, certificación de instaladores y establecimiento de condiciones de instalación regidos por la normatividad vigente (Procedimientos, Hojas de seguridad entre otros).
- La temporalidad de los refuerzos no metálicos como método de rehabilitación en ductos de transporte de gas, está asociada no solo a las pruebas de calidad y garantía del fabricante sino también a: tipo de fibra del sistema de reparación (vidrio, carbón, aramida) condiciones de presión al que opere la línea (historial de ciclos de presión) y condiciones de severidad, relacionadas con el ambiente donde se encuentra el refuerzo (tubería aérea, enterrada o interfase), y al tipo de recubrimiento de protección aplicado una vez instalado.



## **BIBLIOGRAFÍA**

- [1] ASME PCC-2–2018, (Revision of ASME PCC-2–2015) Repair of Pressure Equipment and Piping.[1].
- [2] ASME B31.8-2016 (Revisión de ASME B31.8-2014) Sistemas de tuberías de distribución y transporte de gas
- [3] ASME B31.G-2012 (Revision of ASME B31G-2009) Manual for Determining the remaining strength of corroded Pipelines
- [4] PESPEN, The Pipeline defect Assessment Manual, PDAM Edition 2.
- [5] EVGENY N. BARKANOV., ANDREI DUMITRESCU., IVAN A. PARINOV., (Editores) Non-destructive Testing and repair of pipelines, Review on Materials for Composite Repair Systems-
- [6] IHSAN AL-TAI, J. MALCOLM GRAY, GERHARD KNAUF, MINXU LU, ALAN MURRAY, JOHN O'BRIEN, BILL SANTOS, JOE ZHOU, Oil and Gas Pipelines Integrity and Safety Handbook.
- [7] VISTAP M.KARBHARI (Editor) Rehabilitation of Pipelines Using Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Composites
- [8] DR. CHRIS ALEXANDER, Advances in the repair of pipelines using composite materials.
- [9] KEIFNER J.F, Estimating Fatigue Life for Pipeline Integrity Management Paper No. IPC04-0167, International Pipeline Conference, Calgary, Canada, October 4 – 8, 2008.
- [10] PK MALLICK, Fiber-Reinforced Composites Materials, Manufacturing and Desing. 2007